

1222·2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

ICEA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
DEPARTMENT OF CIVIL, ENVIRONMENTAL
AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

MONITORAGGIO DELLA RISPOSTA TERMICA DEL TERRENO IN PRESENZA DI SONDE GEOTERMICHE

Antonio Galgaro Luca Schenato Giorgia Dalla Santa



FONDAZIONE
INGEGNERI
PADOVA

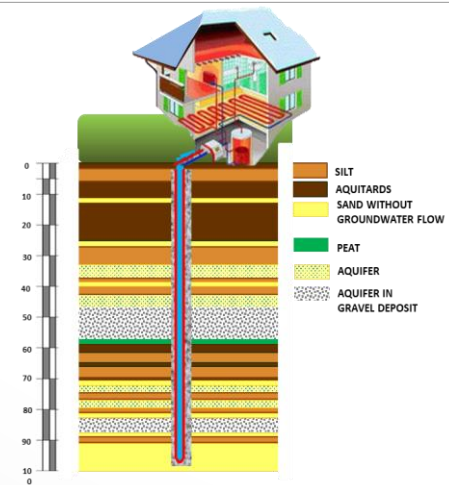
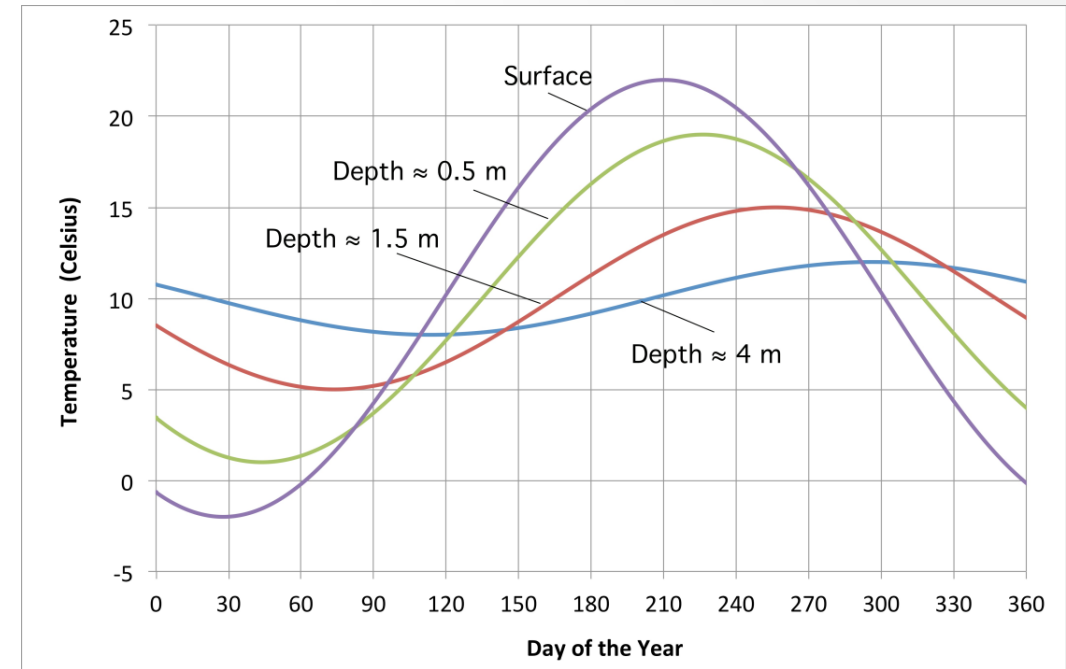
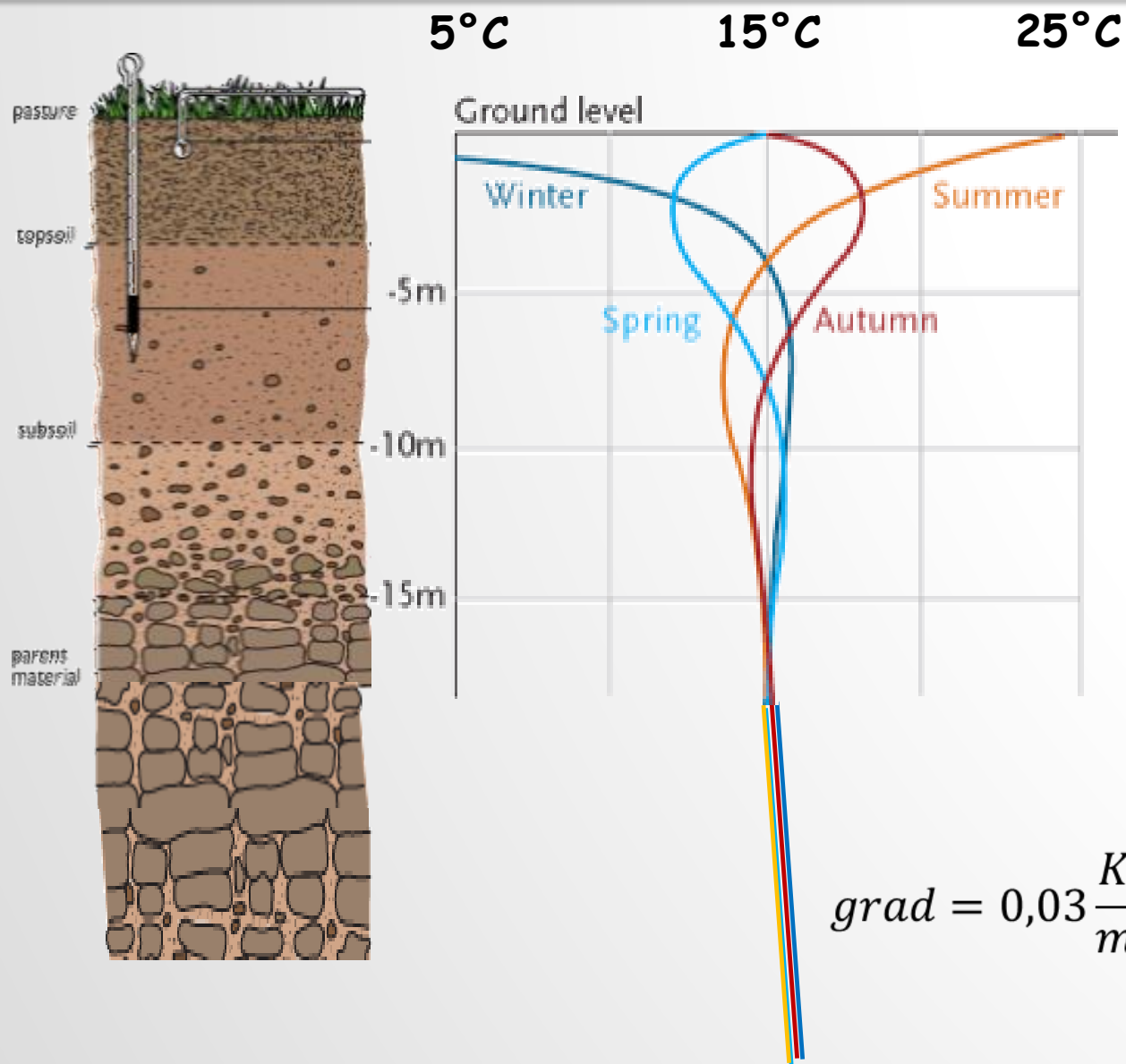


**SISTEMI INNOVATIVI DI MONITORAGGIO GEOTECNICO
MEDIANTE SENSORI IN FIBRA OTTICA**
SALA AUDITORIUM DELL'ORTO BOTANICO - 28 GIUGNO 2022



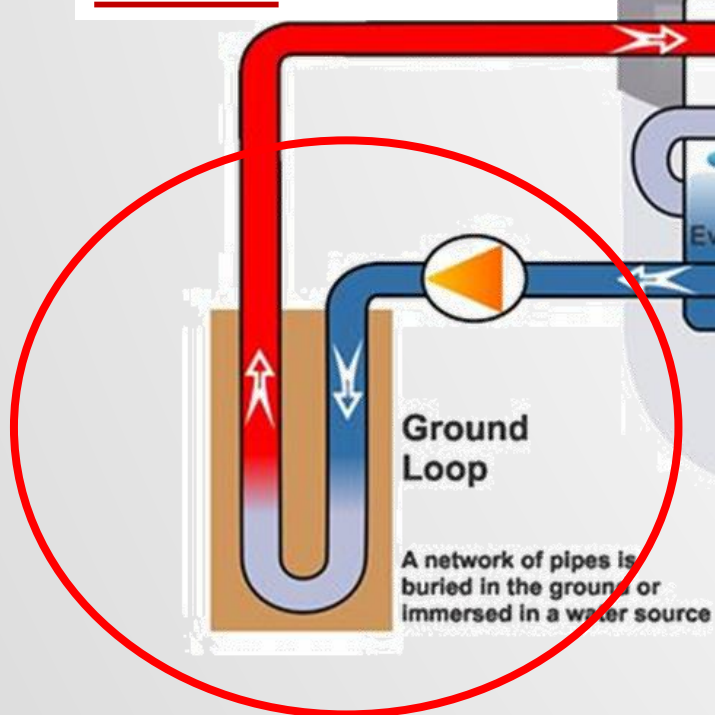
DIPARTIMENTO
DI GEOSCIENZE

SISTEMI DI SCAMBIO TERMICO CON IL TERRENO

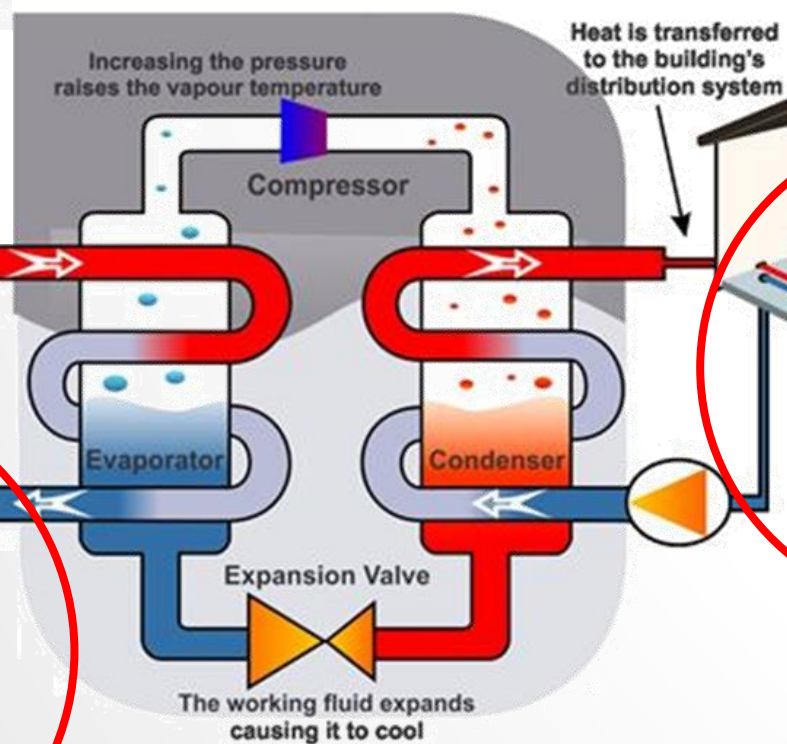


SISTEMI DI SCAMBIO TERMICO CON IL TERRENO

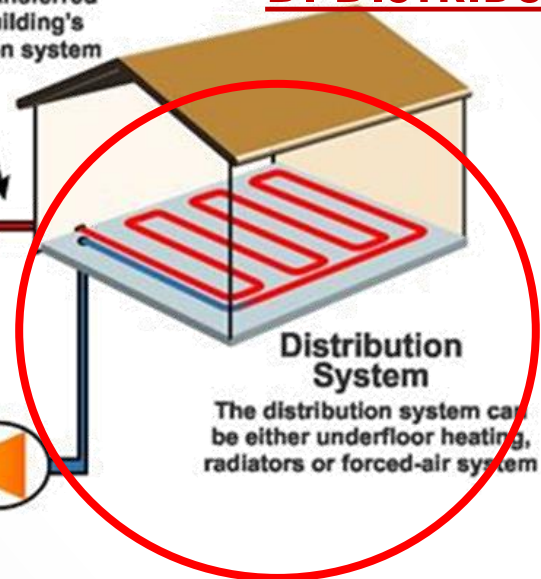
1. SCAMBIATORE DI CALORE A TERRA



2. POMPA DI CALORE



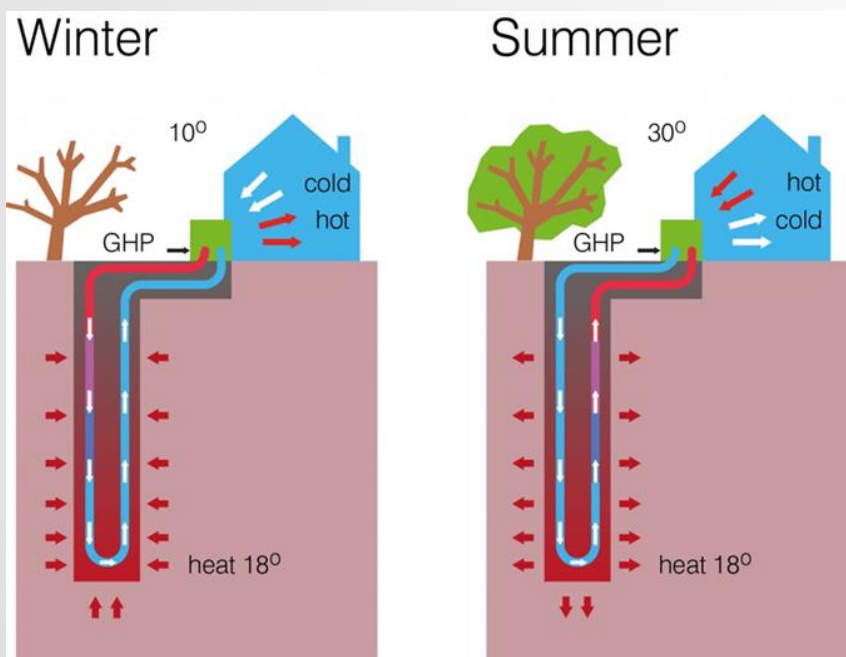
3. UN IMPIANTO INTERNO DI DISTRIBUZIONE



SISTEMI DI SCAMBIO TERMICO CON IL TERRENO

volume (area/numero piani), classe energetica, destinazione d'uso, tecniche costruttive e materiali, area finestre, orientazione

condizioni climatiche (altitudine, latitudine, quota)



**richieste termo-
frigorifere
dell'edificio**

**capacità di scambio
termico del sistema
sonda-terreno**

**1. lunghezza totale delle
sonde/ scambiatori di
calore a terreno (GHE)**

**2. Q e T del fluido
termovettore (gestito
in continuo dalla PdC)**

condizioni stratigrafiche
e proprietà termiche dei diversi livelli

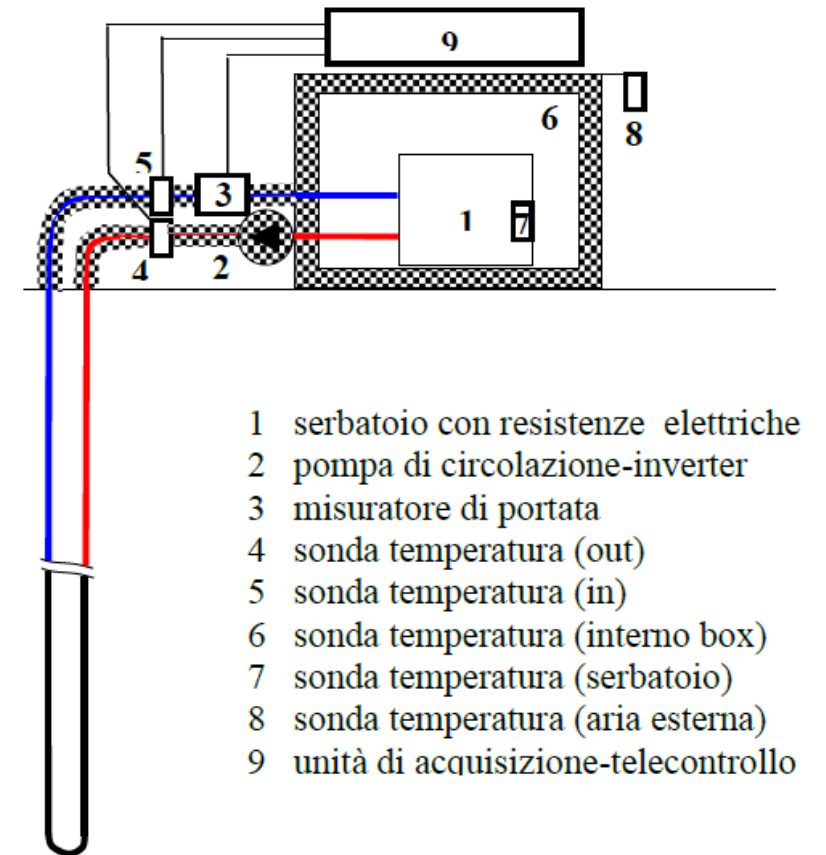
condizioni idrogeologiche (presenza
e velocità di falda)

Temperatura indisturbata,
presenza di anomalie termiche
naturali o indotte (impianti vicini?)

materiali e tecniche
utilizzate nella
realizzazione degli
scambiatori

THERMAL RESPONSE TEST (tradizionale)

- ✓ Si realizza una sonda geotermica 'di prova'
- ✓ Al termine della fase di maturazione del grout di riempimento, si sollecita il terreno con un impulso termico:
 - Potenza = 50-80 W/m
 - il più possibile costante
 - per un periodo tale da raggiungere condizioni quasi-stazionarie (durata almeno 72 ore)
 - frequenza misura ogni 2 min
- ✓ Fase 1: misura temperatura media del fluido all'interno della sonda
- ✓ Fase 2: misura evoluzione nel tempo della temperatura del fluido nella sonda (in ingresso + uscita), per un valore prefissato costante della potenza termica trasmessa al terreno



- 1 serbatoio con resistenze elettriche
- 2 pompa di circolazione-inverter
- 3 misuratore di portata
- 4 sonda temperatura (out)
- 5 sonda temperatura (in)
- 6 sonda temperatura (interno box)
- 7 sonda temperatura (serbatoio)
- 8 sonda temperatura (aria esterna)
- 9 unità di acquisizione-telecontrollo

**(richiesto da normativa
per impianti potenza
termica > 20kW)**

THERMAL RESPONSE TEST (tradizionale)

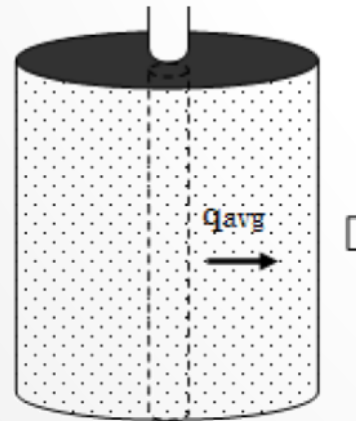
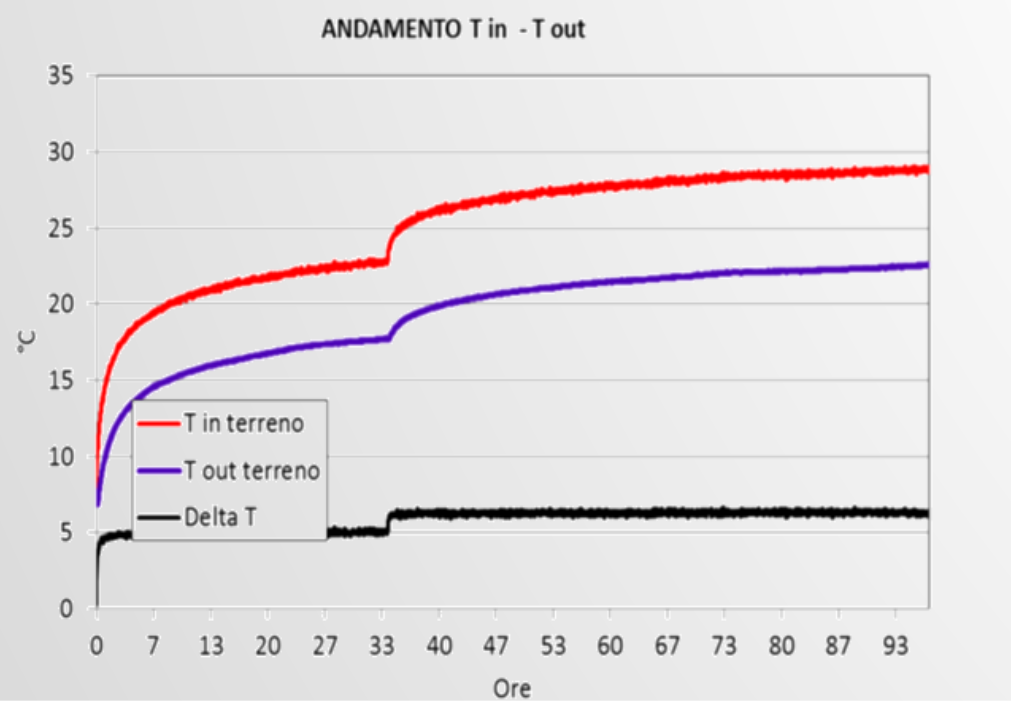
PROS

→ fornisce:

1. temperatura indisturbata del terreno
 2. resistenza termica della sonda
 3. capacità di scambio termico 'globale' del sistema sonda/ terreno
- + procedura ben standardizzata e prova «in freddo»

CONS

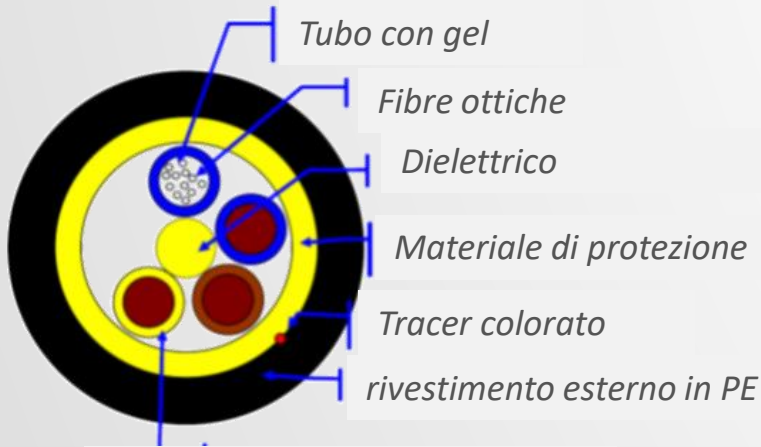
Essendo una 'conducibilità termica equivalente' NON permette di distinguere i contributi di scambio termico dei singoli strati di terreno



THERMAL RESPONSE TEST INNOVATIVI

Distributed Thermal Response Tests (DTRT)

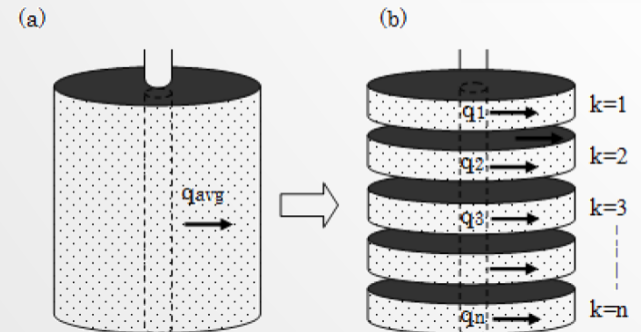
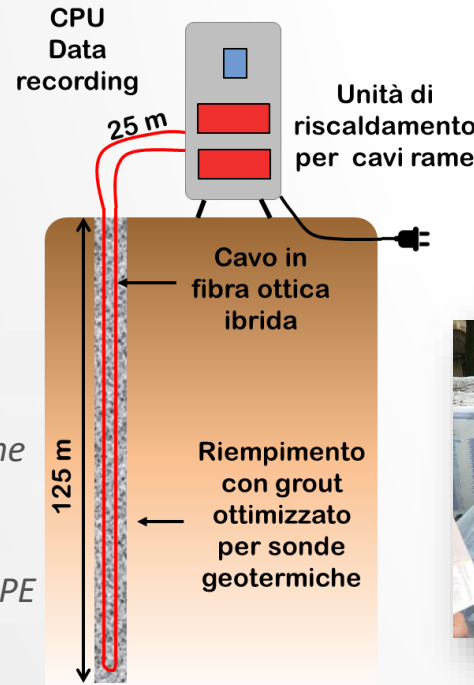
Enhance Thermal Response Test (ETRT)



Cavi di rame (4 X 0,5mm²)



Installazione di un cavo IBRIDO a fibre ottiche



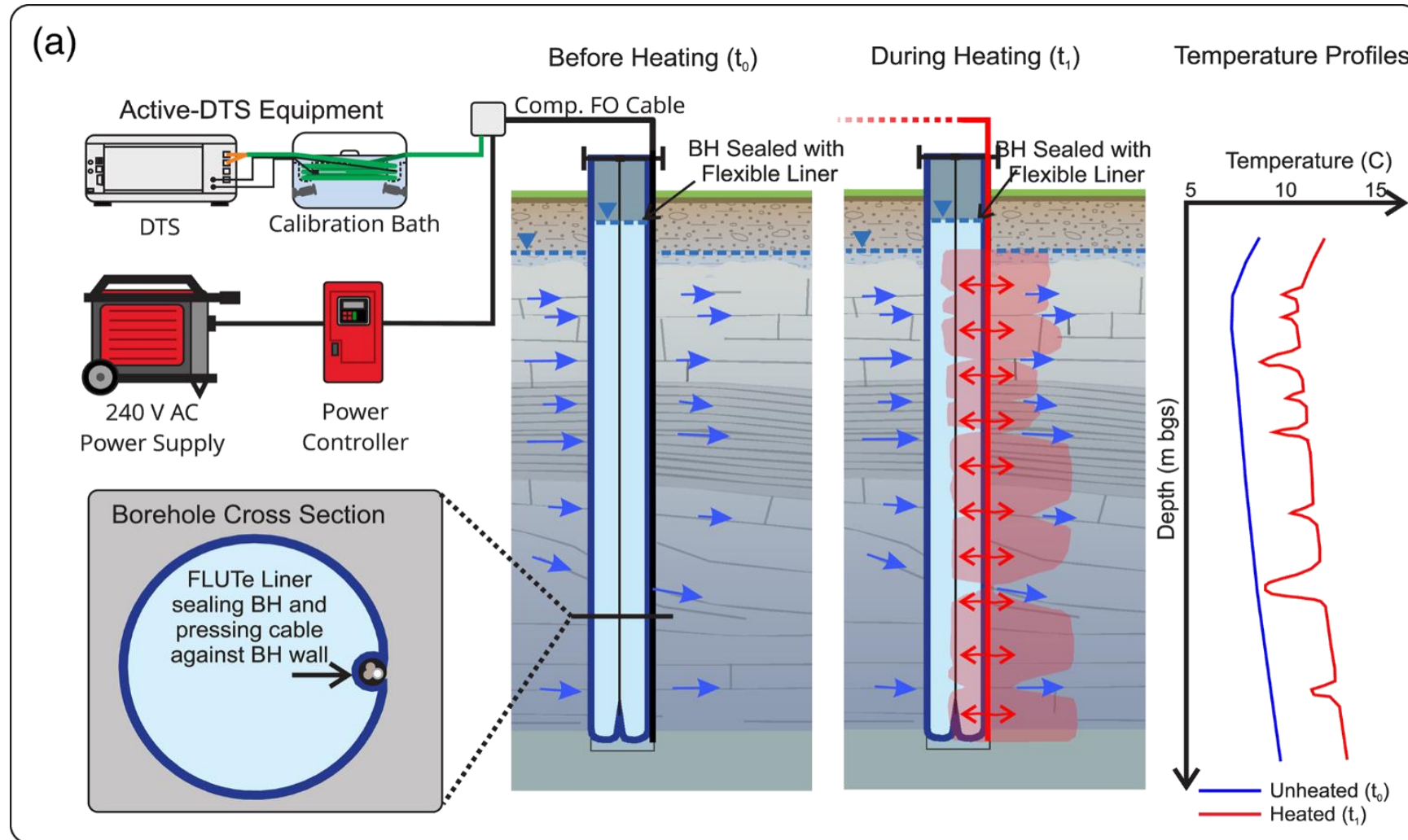
Cavi di rame → trasferire calore nel terreno per effetto

Fascio di fibre ottiche → misurare la variazione di temperatura nel tempo

1. Per misurare la temperatura del terreno, viene analizzata la componente Anti-stokes Raman
2. La fibra ottica può misurare sia mentre il cavo sta scaldando, sia in recovery (active/passive mode)
3. ad alta risoluzione spaziale e temporale (dipende dall'interrogatore - ogni 30 sec, 1m)

4. → permette di distinguere il contributo dei singoli livelli → OTTIMIZZARE LA PROGETTAZIONE

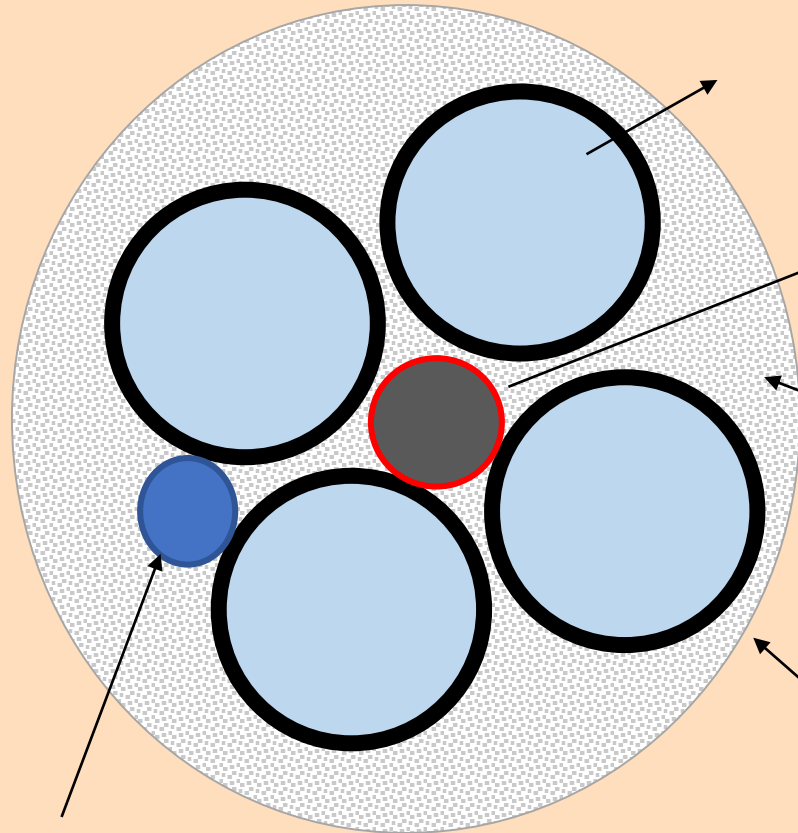
Enhanced thermal response test (vantaggi)



Munn, J. D., Maldaner, C. H., Coleman, T. I., & Parker, B. L. (2020). Measuring fracture flow changes in a bedrock aquifer due to open hole and pumped conditions using Active Distributed Temperature Sensing. *Water Resources Research*, 56, e2020WR027229. <https://doi.org/10.1029/2020WR027229>

INSTALLAZIONE DELLA FIBRA OTTICA

Sonda a doppia U PE:
Ext diametro: 32mm
Int diametro: 26mm



Tubo di iniezione della
cementazione di sigillatura foro

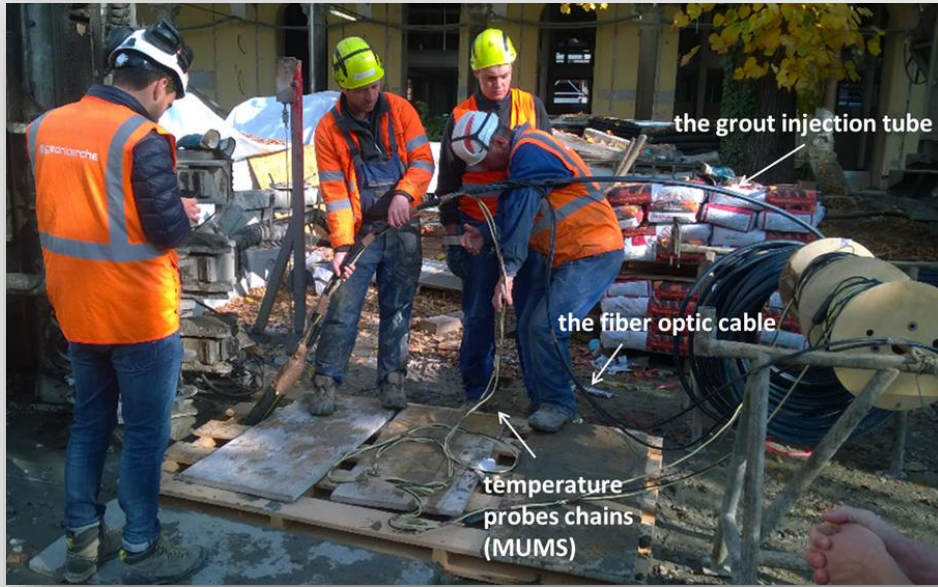
Cemento:
thermoplast Laviosa
(TC of 1.5 W/(m*K))

Diametro foro: 152cm
NO CASING
Profondità del foro: 101m

Cavo a fibra ottica



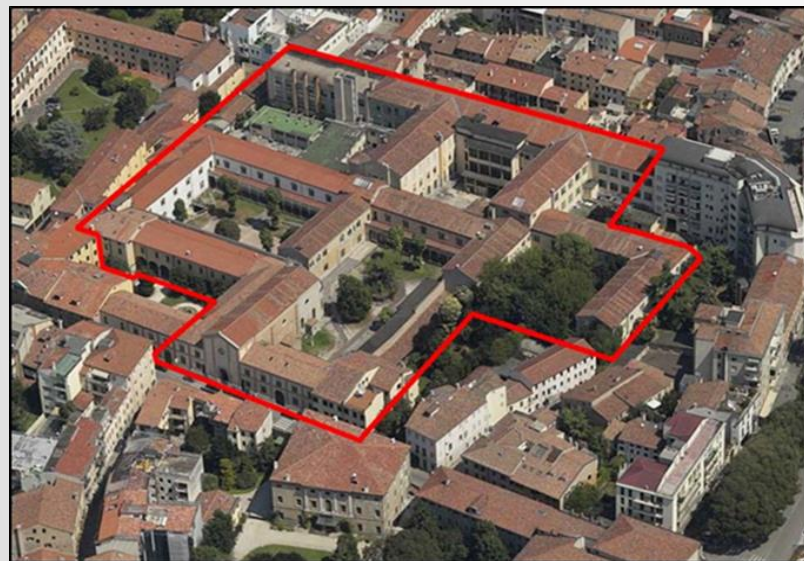
INSTALLAZIONE DELLA FIBRA OTTICA



Specifiche interrogatore (AP Sensing):

- Intervallo campionamento: 0.5 m
- Risoluzione spaziale: 1 m
- Ripetibilità: $\sim 0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (per tempi di acquisizione di pochi minuti)

UNIPD TEST SITE



Perforazione: $\varnothing 152\text{mm}$
profondità: 121 m

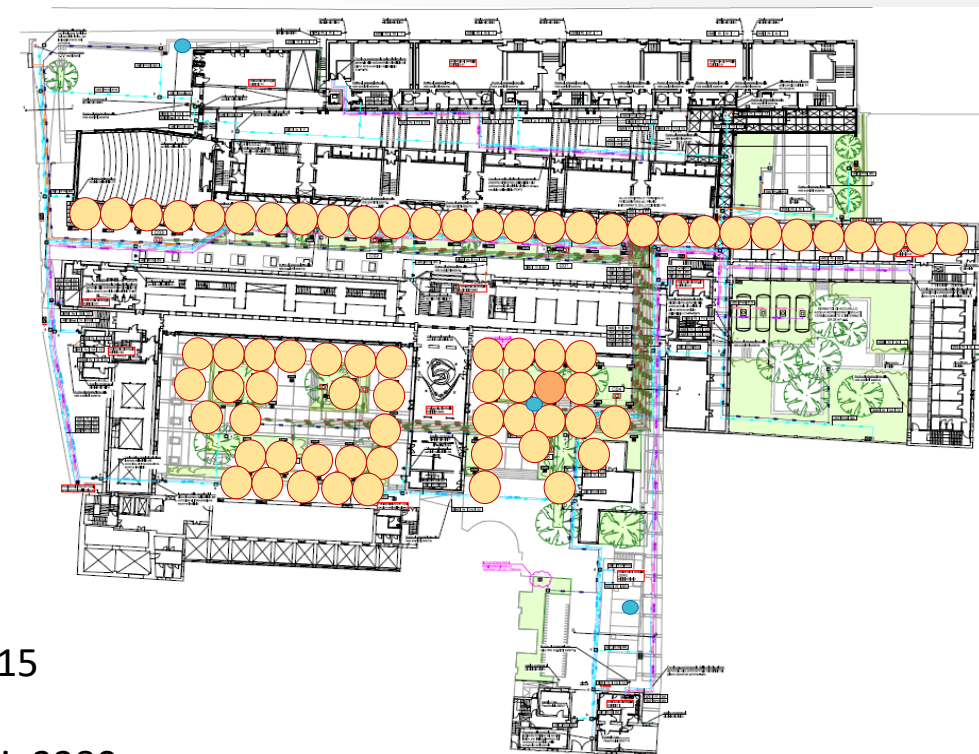
Campo sonde:
60 doppia-U verticale,
120 m,
diam. ext $\varnothing 103\text{mm}$,
4 tubi $\varnothing 32\text{mm}$ (spessore 2.9) PE-Xa PN 15

Lunghezza totale connessioni orizzontali: 3280m

2 pompe geotermiche inverter acqua/acqua:

- ✓ refrigerante: r410a
- ✓ heating capacity: 177 kwt ciascuna, COP = 4.1
- ✓ cooling capacity: 168 kwt ciascuna, EER= 4.7

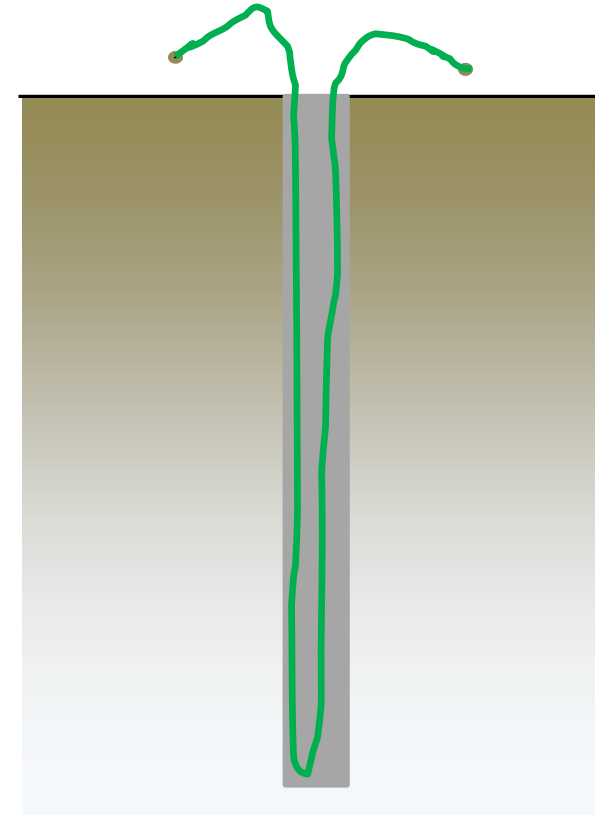
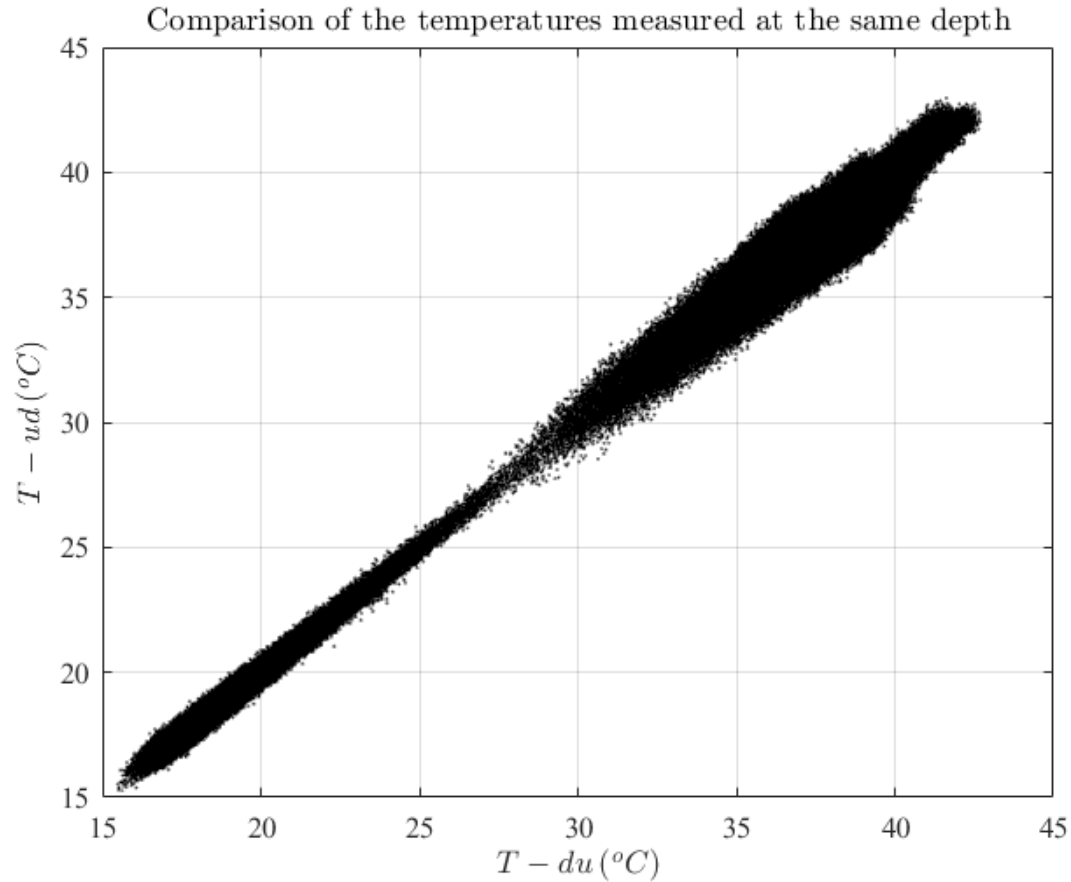
In funzionamento da Luglio 2019



- TRT tradizionale
- Pozzo di monitoraggio:
 - Verticali di sensori di temperatura
 - Cavo in fibra ottica ibrida
→ DTRT

INSTALLAZIONE DELLA FIBRA OTTICA

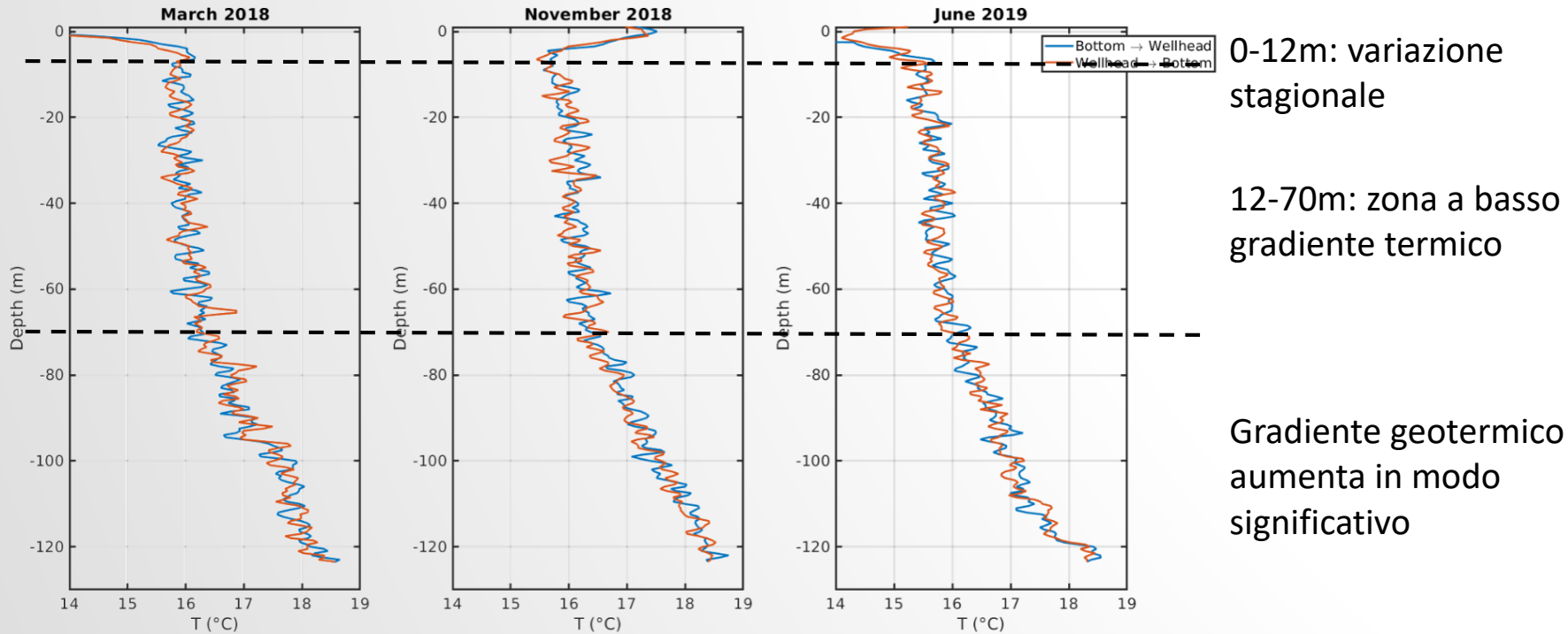
Ci sono due cavi di fibra ottica (mandata e ritorno), quindi la temperatura viene misurata due volte a ciascuna profondità.



Entrambe le misurazioni della temperatura sono correlate tra loro,
il che è indicativo di un buon test.

UNIPD TEST SITE

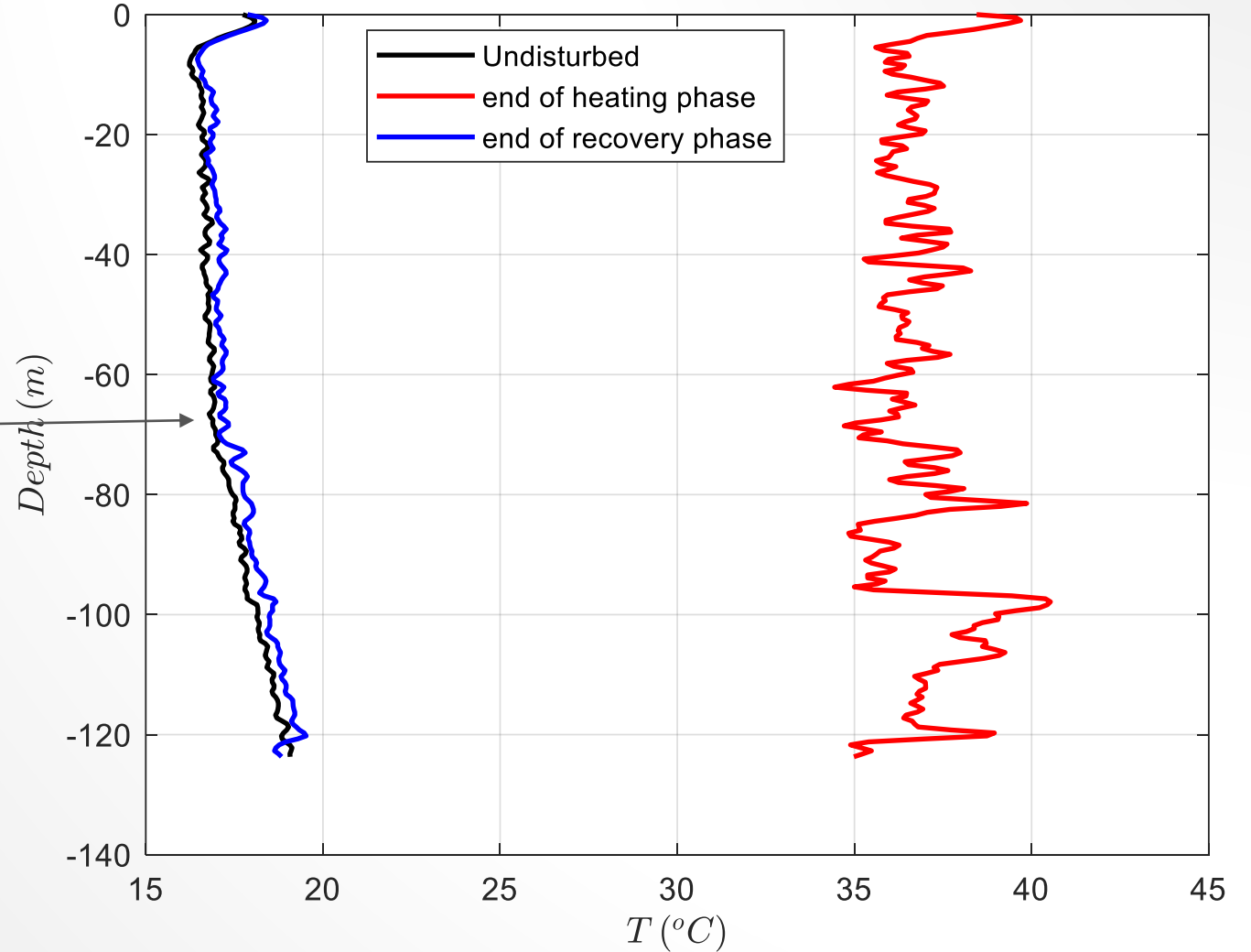
PROFILO VERTICALE DI TEMPERATURA INDISTURBATA



1. identificazione di diversi gradienti a diverse profondità,
2. Lunghezza delle sonde geotermiche in funzione delle necessità energetiche dell'edificio da climatizzare

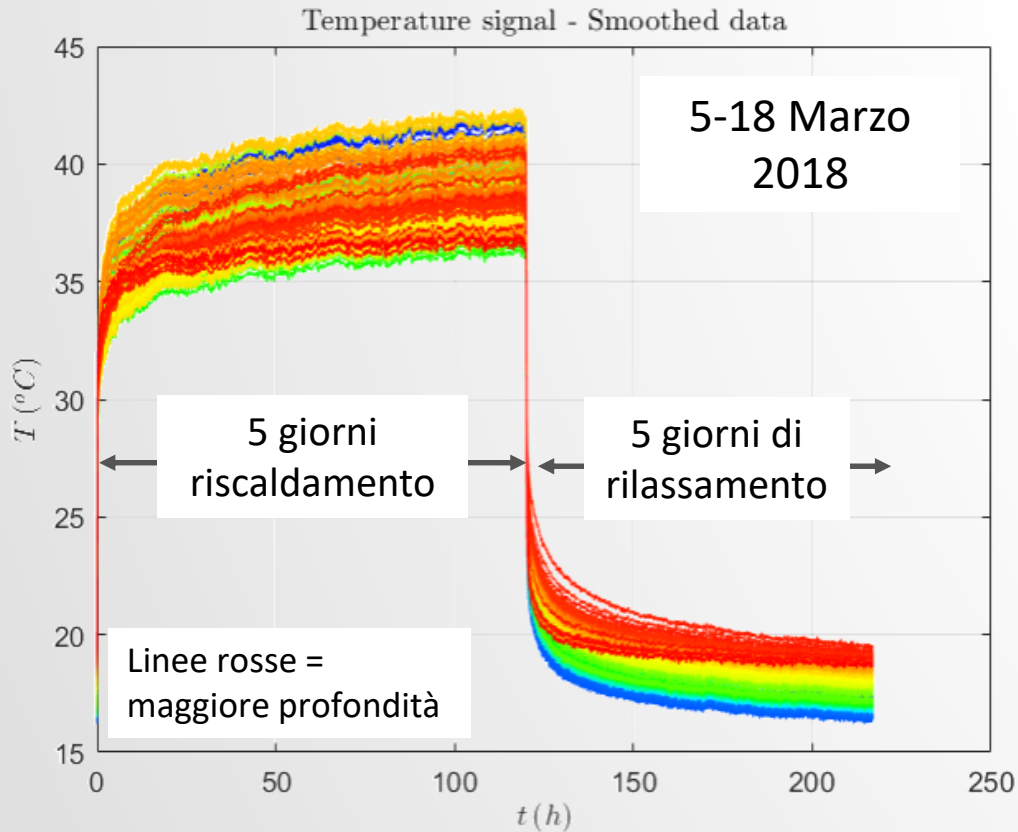
UNIPD TEST SITE

Profili di temperatura indisturbata.
Da 0 a 12m, variazione stagionale
Da 12 a 70 m, basso gradiente
Oltre 70 m il gradiente geotermico domina



UNIPD TEST SITE

200 segnali di temperatura nel tempo (uno ogni 0.5m)



1. Filtro passa basso Nuttal per pulire i dati grezzi di temperatura

2. First-Order Approximation (FOA) del infinite line-source model (Ingersoll et al., 1954; Ghelin and Spitler, 2001)

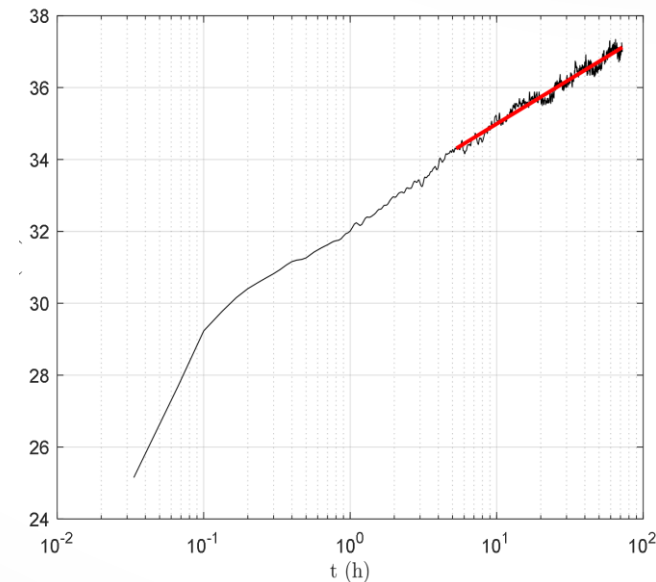
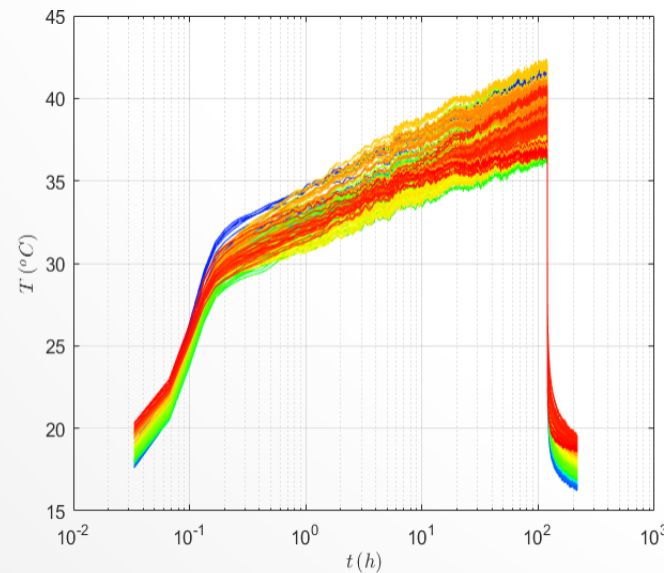
Cond. Termica

alla profondità z:

$$\lambda(z) = \frac{q}{2\pi m(z)}$$

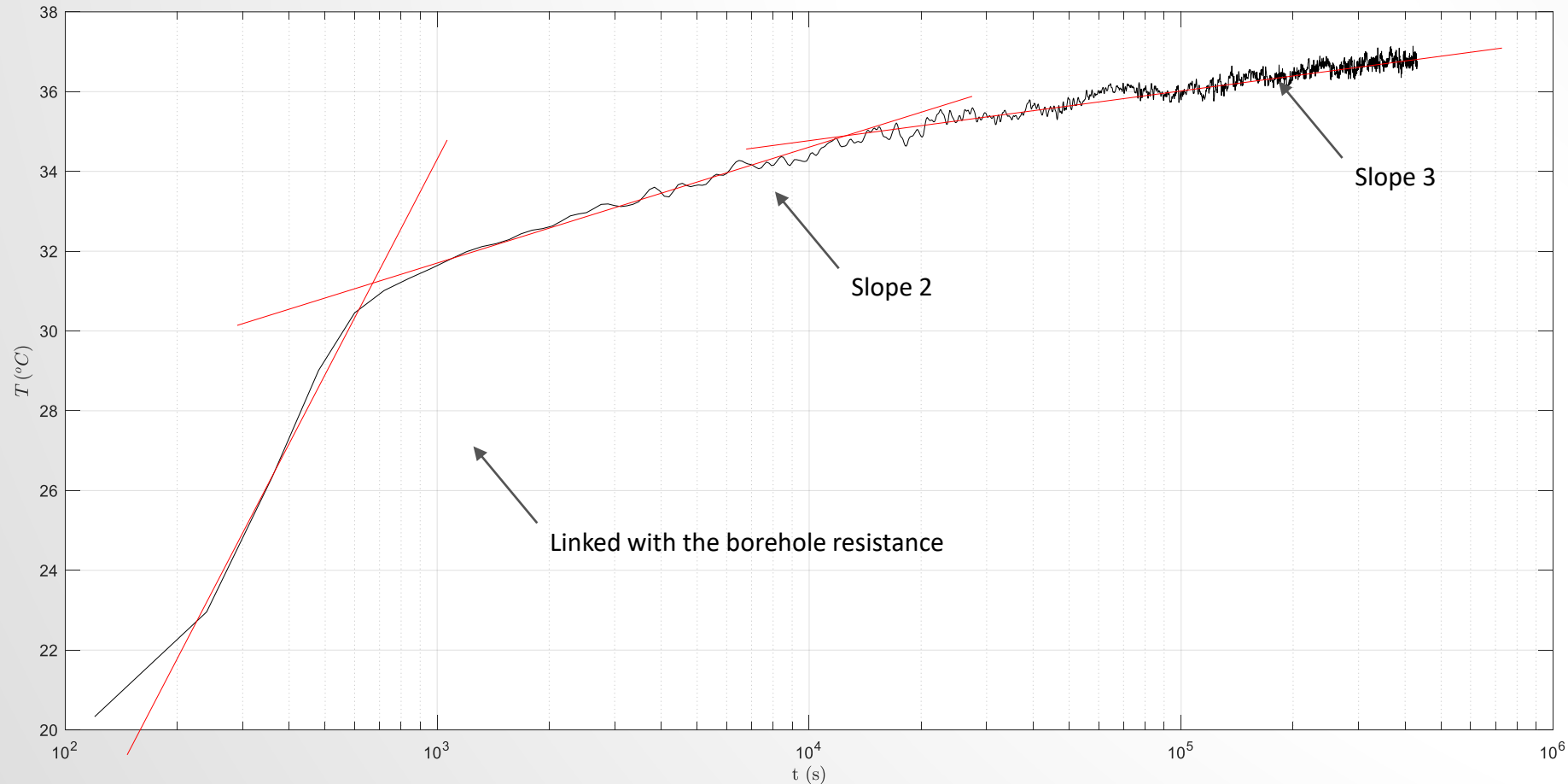
$m(z)$ è la pendenza di $T(\ln(t))$ temp.

misurata alla prof. z



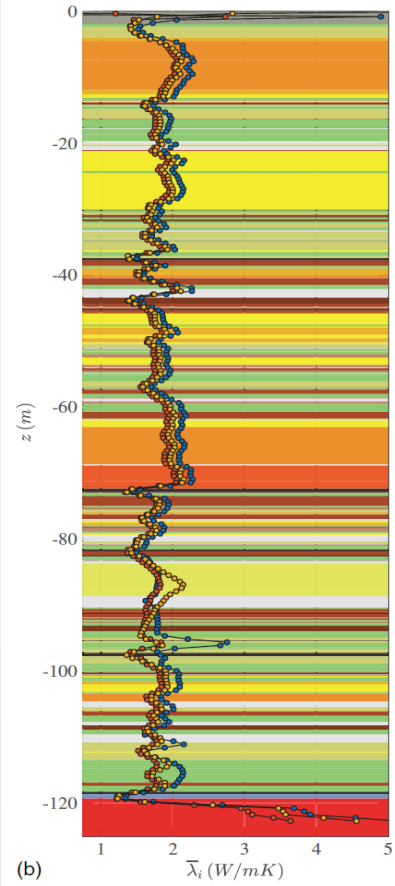
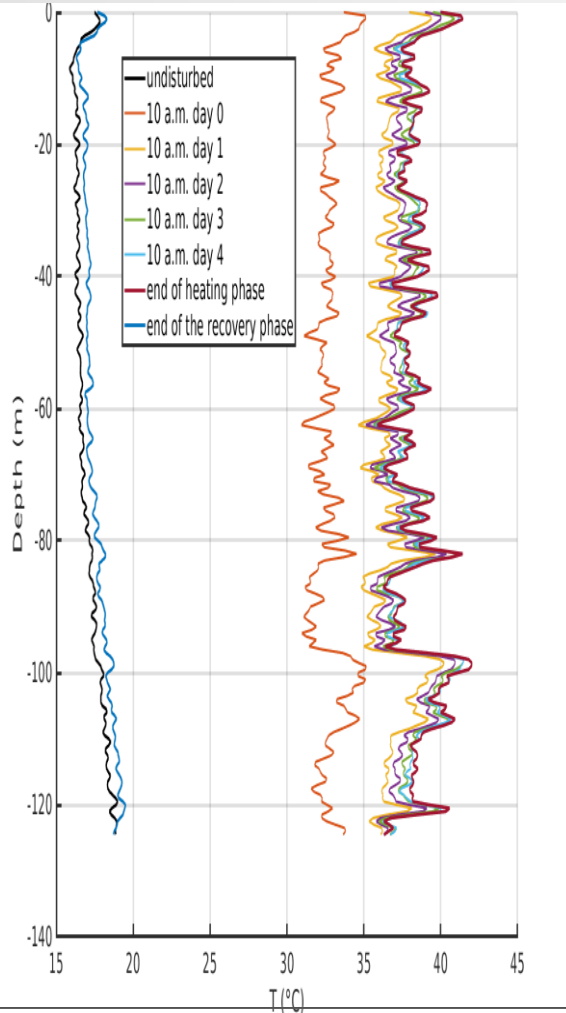
UNIPD TEST SITE

Alcuni segnali di temperatura (nella ghiaia e nella sabbia) esibiscono 3 pendenze distinte. Tuttavia, non è chiaro se ciò sia causato da un flusso di acque sotterranee, dalle resistenze termiche del sistema di tubazioni o dall'intasamento della formazione geologica da parte della cementazione.

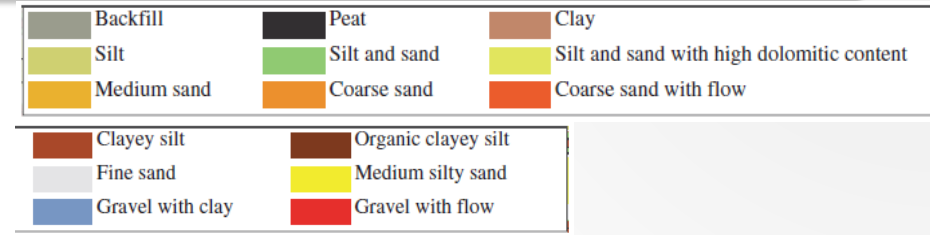
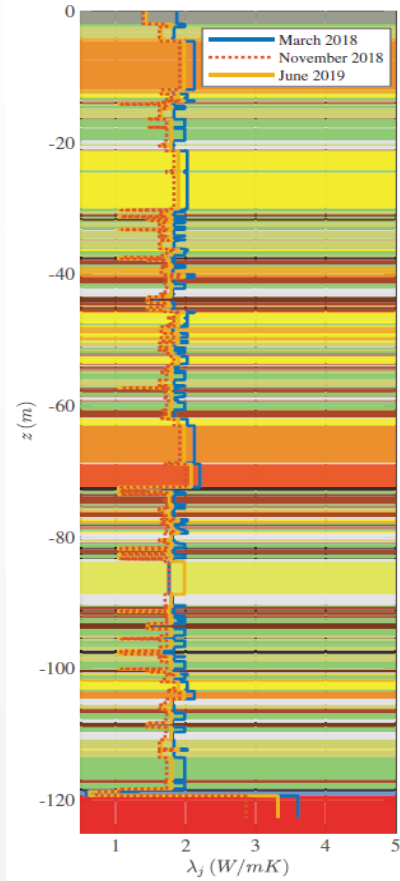


UNIPD TEST SITE

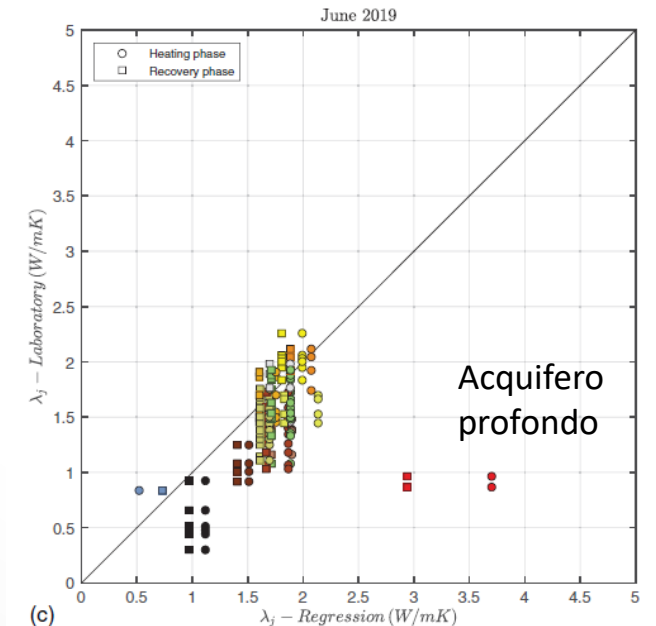
1. conducibilita' termica dei singoli livelli



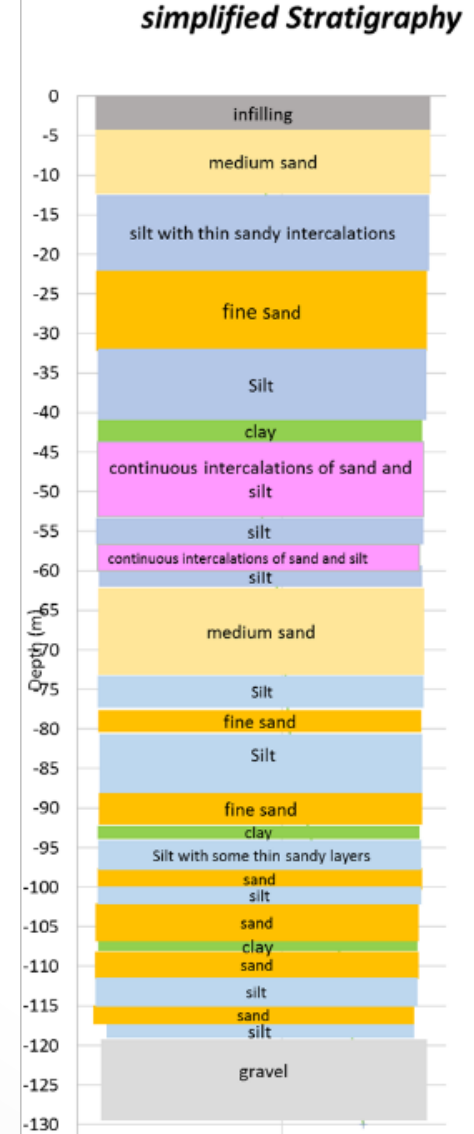
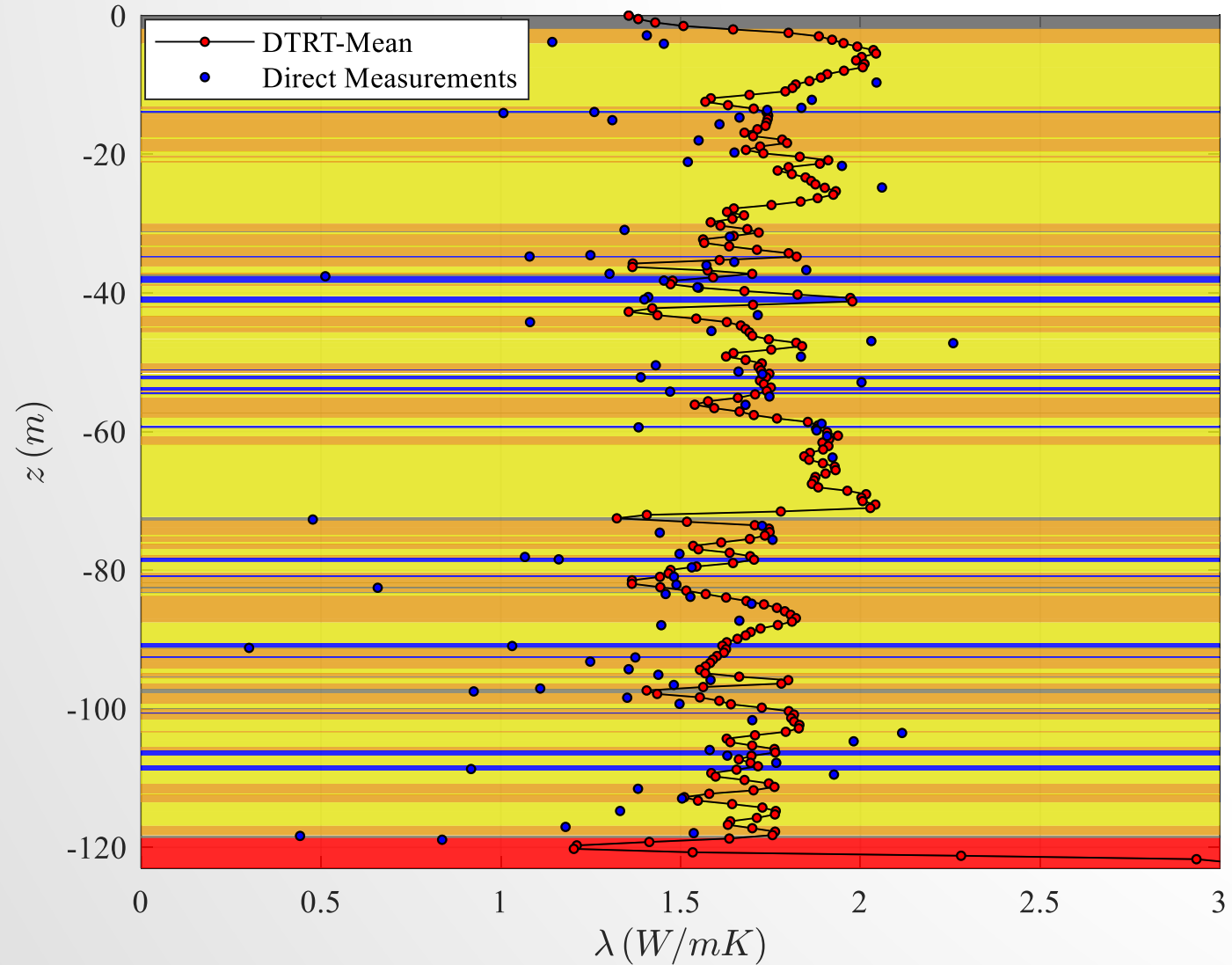
2. conducibilita' termica unita' litostratigrafiche



→ Confronto con misure dirette sui campioni prelevati in sito: differenze attribuibili a contributo convettivo, detensionamento e perdita di contenuto d'acqua dei campioni, effetti di scala



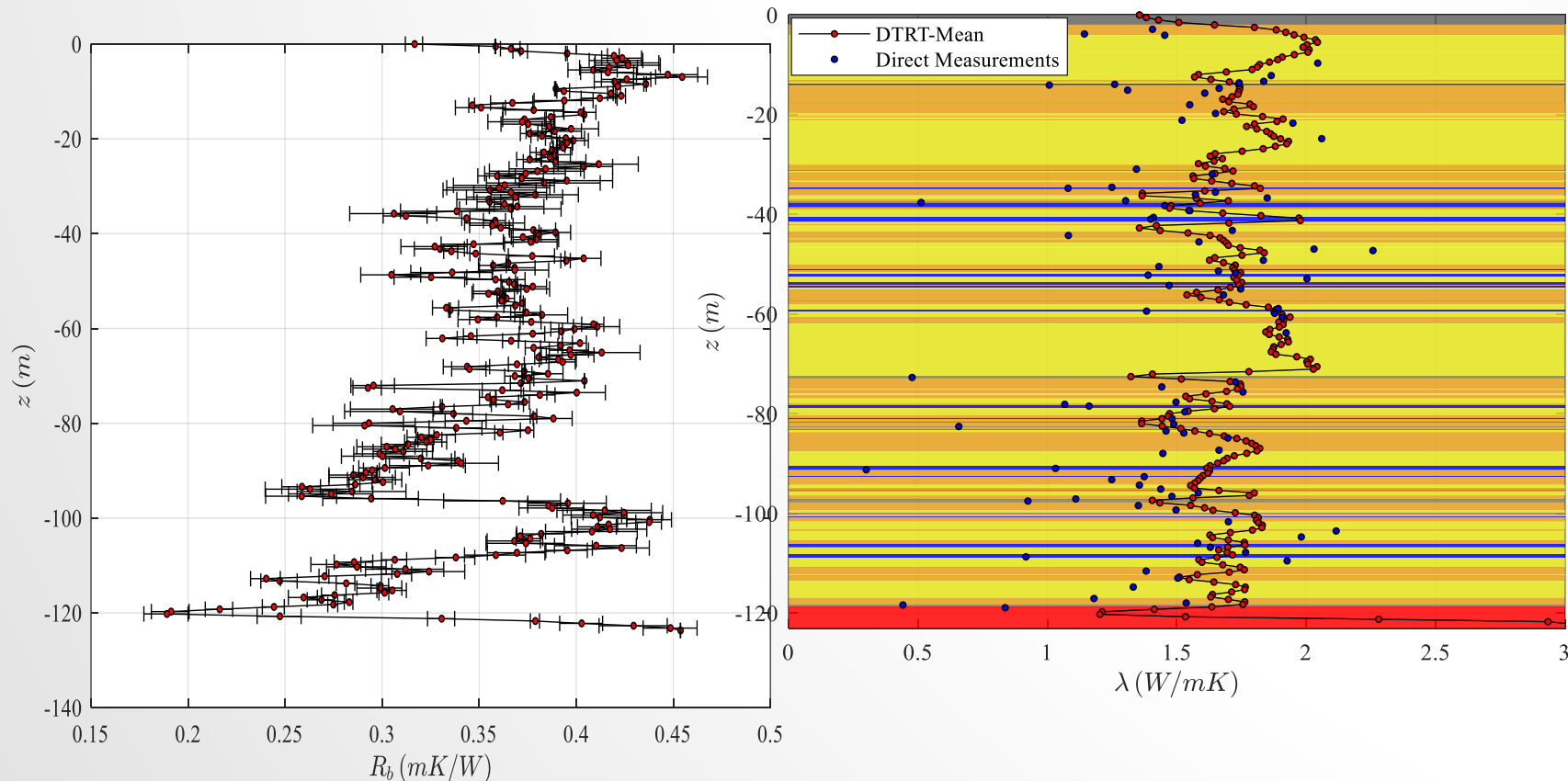
UNIPD TEST SITE



UNIPD TEST SITE

R_b varia significativamente sulla lunghezza del foro.

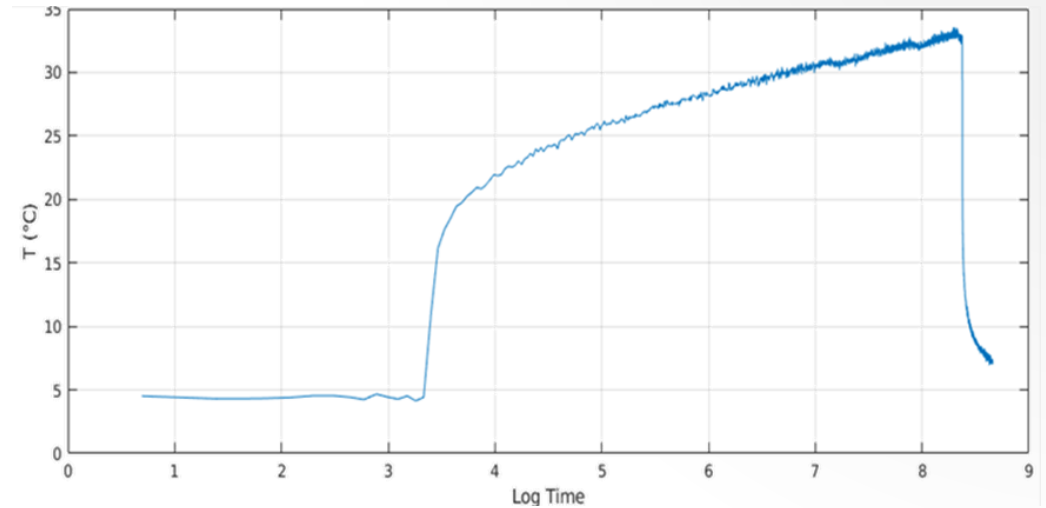
Questa variazione potrebbe essere causata dall'infiltrazione del cemento di sigillatura del foro nei mezzi porosi circostanti, o da una variazione della posizione reciproca dei tubi e cavo all'interno del foro



GIAU TEST SITE



30 min temperatura indisturbata
 + 72 ore heating
 + 24 ore relaxation



GHE Doppia U:

Diametro est.: 32mm

Diametro int.: 26mm

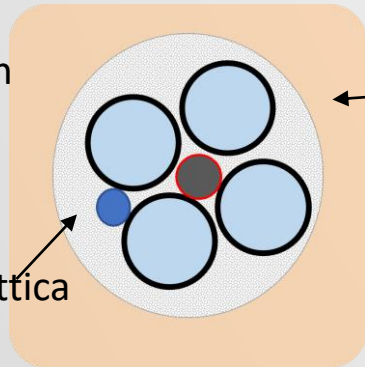
Grout: thermoplast Laviosa
 (TC of 1.5 W/(m*K))

Profondità: 101m

diametro 152cm

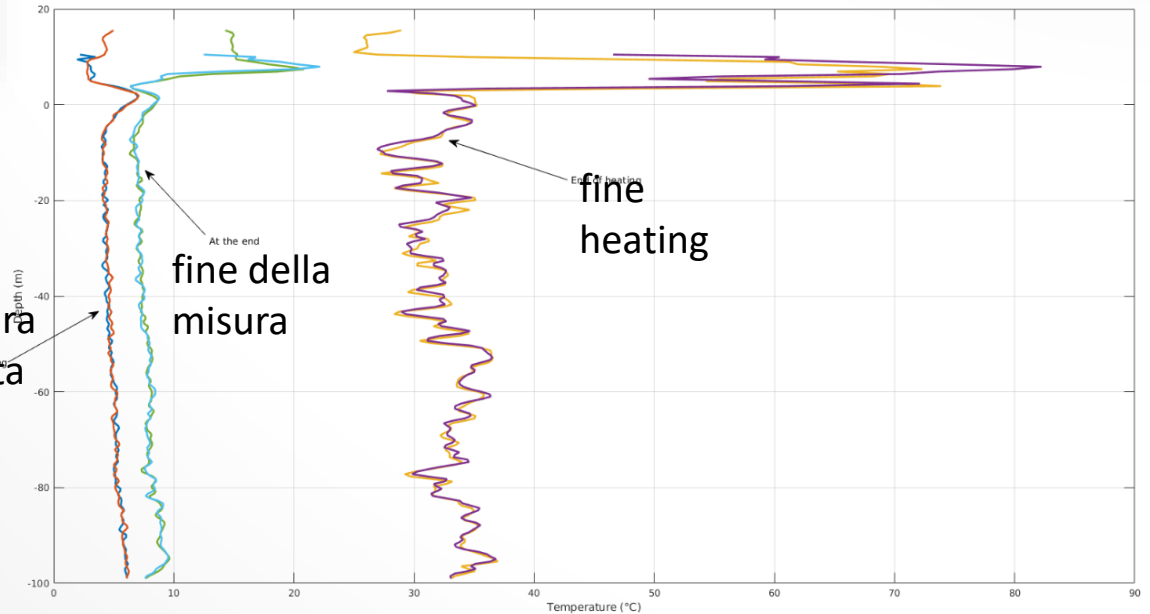
NO CASING

Grout injection tube

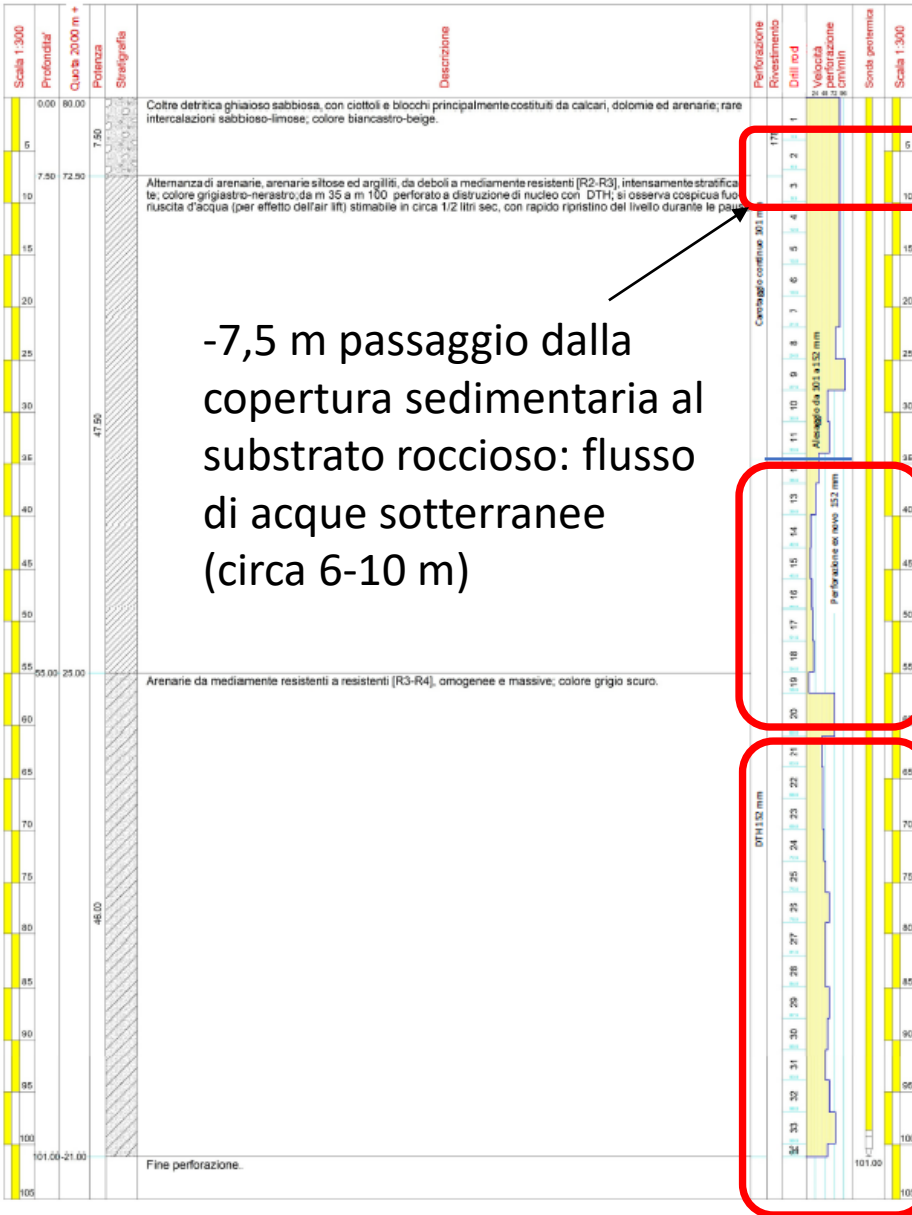


Fibra ottica ibrida

Temperatura indisturbata



Stratigrafia



-7,5 m passaggio dalla copertura sedimentaria al substrato roccioso: flusso di acque sotterranee (circa 6-10 m)

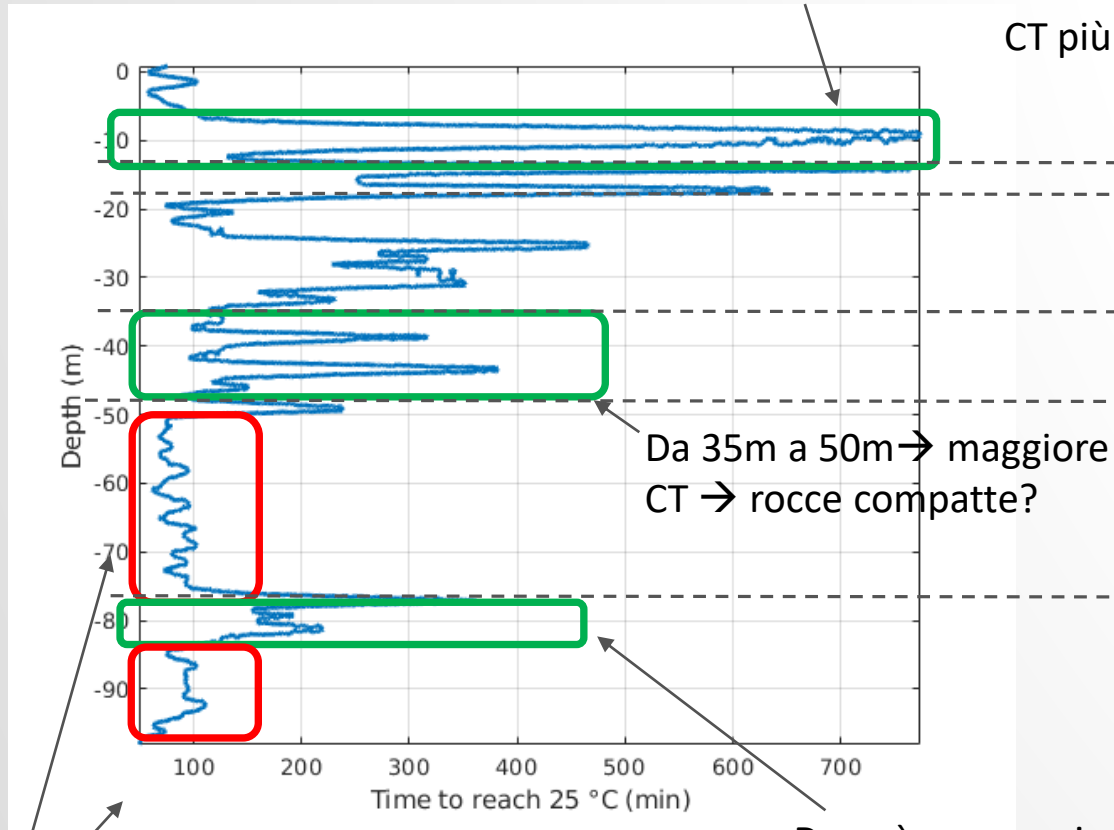
altitude ground 2080 m from sea level				TC (measured on similar rock samples) [W/(m K)]
from (m)	to (m)	thickness (m)	description	
0	7,5	7,5	sandy gravel, with cobbled principally constituted by limestone, sandstones and dolomia; rare sandy-silty intercalations ; white-beige colour	2
7,5	55	47,5	continuous succession of limestones, silty limestones and claystones from weak to medium resistance (R2-R3), intensively stratified. Colour: grayish black. From 35m to 100m DTH drilling. Observed important groundwater outflow (estimated 1/2 l/sec), with rapid recovery of the ground water level during the operation interruptions.	1,9
55	101	46	limestones from medium resistance to resistant [R3-R4], homogenous and massive; colour: dark gray	2,5
end of the well				

Da 35m a 55m la velocità di perforazione con DTH è inferiore
La roccia dovrebbe essere più compatta ad alta TC??

+ da 35m osservato flusso di acque sotterranee
+ da 55m la velocità di perforazione con DTH è sempre in aumento.
La roccia dovrebbe essere più fratturata

GIAU TEST SITE - RISULTATI

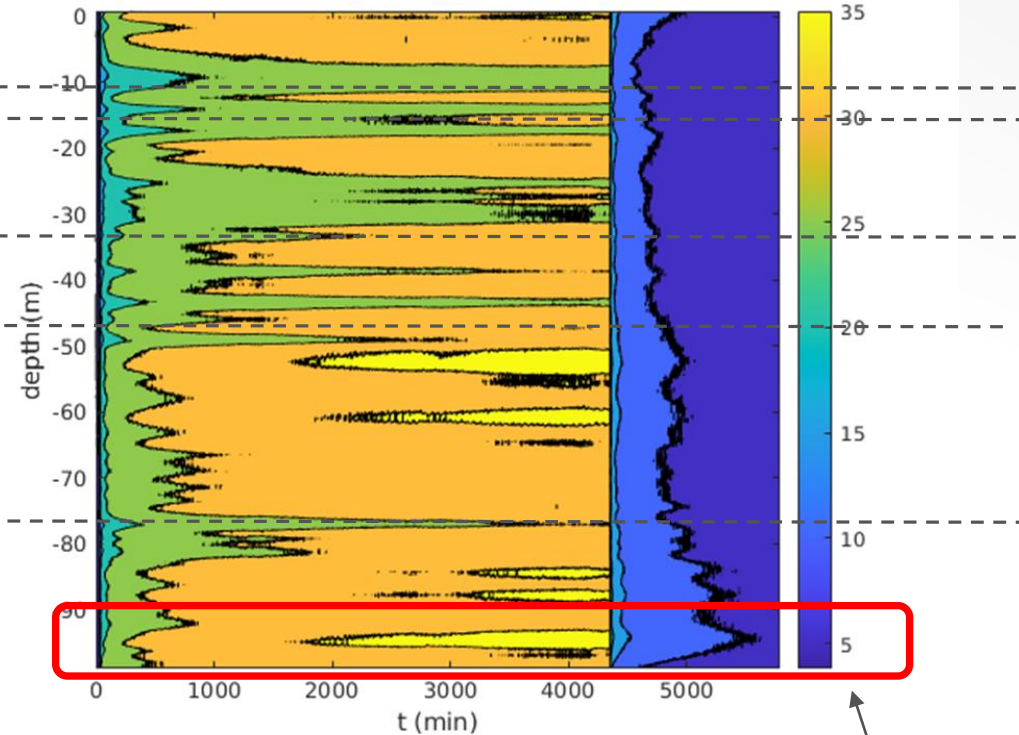
Richiesto molto tempo per raggiungere i 25°C → maggiore CT per presenza di flusso di acque sotterranee nella copertura sedimentaria



Se il tempo di riscaldamento è più lungo, la CT del materiale circostante è più alto; se il tempo di riscaldamento è più breve, CT più basso.

termine heating

Quando il recovery è breve, la CT è attesa alta; al contrario, recovery time lungo significa CT bassa



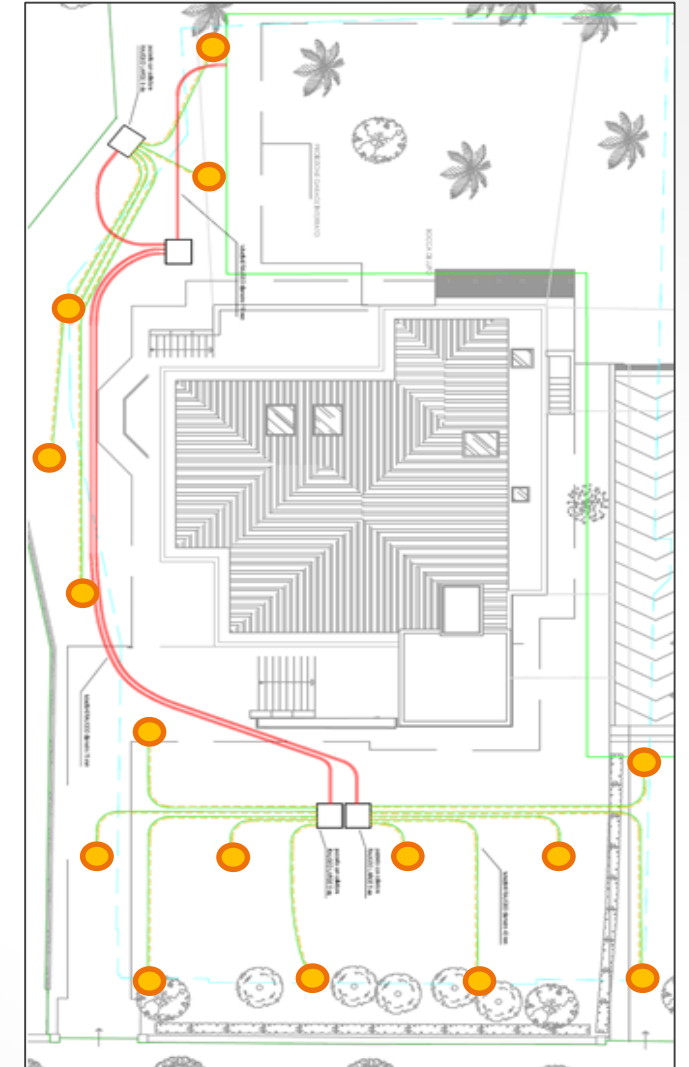
Dove è necessario molto tempo per far aumentare la temperatura del cavo → maggiore CT nel materiale, attese rocce fratturate con flusso di acqua sotterranea

La temperatura del cavo anche cala rapidamente durante la fase di rilassamento → bassa CT

dove la temperatura del cavo aumenta velocemente → bassa CT del materiale

IMPORTANZA DEL TEST DI RISPOSTA TERMICA

- Investimento iniziale e costi di costruzione (a breve termine)
 - Prestazioni energetiche complessive ed efficienza del sistema GSHE (a lungo termine)
- ←
- lunghezza totale degli scambiatori a terreno
 - disposizione del campo sonde in funzione della superficie disponibile e della condizione geologica e idrogeologica locale



CONCLUSIONI

1. i risultati ottenuti dimostrano la potenzialità del EDTRT di stimare, oltre al valore globale della conduttività termica, anche la sua variabilità lungo il profilo verticale, grazie alla misura della variazione nel tempo della temperatura, a seguito di una stimolazione termica
2. Il DTRT permette di valutare il profilo verticale di temperatura, anche nelle diverse fasi di riscaldamento/raffreddamento
3. Nonostante il EDTRT effettui una media spaziale verticale del segnale (1 m), il profilo di conducibilità termica è chiaramente correlato alla successione stratigrafica, soprattutto per i depositi di spessore maggiore.
4. La velocità di riscaldamento e raffreddamento può essere un altro indice per valutare la CT dei diversi livelli e la eventuale presenza di livelli di falda acquifera
5. Il profilo verticale «continuo» di conducibilità termica consente di pianificare con cognizione e affidabilità la realizzazione di campi sonde di scambio termico con il terreno



1222·2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE, EDILE E AMBIENTALE**
DEPARTMENT OF CIVIL, ENVIRONMENTAL
AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

Grazie dell'attenzione



DIPARTIMENTO
DI GEOSCIENZE



FON
DAZ
IONE
INGEGNERI
PADOVA

